

Д. Д. Хаматов^{1*}, М. П. Пузанов^{1,2}

¹Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

²ООО «ВИЗ-Сталь», г. Екатеринбург

*aimi160@rambler.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ С РАЗЛИЧНЫМ НАТЯЖЕНИЕМ

В настоящей работе исследовано соотношение кинематических зон в очаге деформации в процессе холодной прокатки кремнистой стали при разных значениях переднего и заднего натяжений полосы путем отслеживания положения нейтрального сечения. Задача решалась методом конечных элементов в «DEFORM 3D».

Ключевые слова: холодная прокатка, метод конечных элементов, натяжение полосы, электротехническая сталь, очаг деформации, нейтральное сечение.

D. D. Khamatov, M. P. Puzanov

DEFORMATION CENTER KINEMATICS RESEARCH AT COLD ROLLING OF SILICEOUS STEEL WITH VARIOUS TENSION

In this work the ratio of kinematic zones in deformation containment volume in the course of cold-rolling reduction of silicon steel at different values of forward and back take-up of a strip by tracking of provision of neutral plane is investigated. The problem was solved by a finite-element method in „DEFORM 3D“.

Key words: cold-rolling reduction, finite-element method, take-up, silicon steel, deformation containment volume, neutral plane.

Кинематика очага деформации при холодной прокатке стальных полос оказывает существенное влияние на стабильность технологического процесса, его энергоемкость и качественные показатели проката. От соотношения зон отстаивания и опережения в очаге деформации зачастую зависит структурное состояние металла, чистота поверхности холоднокатаных полос, их плоскостность и разнотолщинность [1–3]. Прокат из кремнистых электротехнических сталей является сложным и ответственным видом металлопродукции. К нему предъяв-

ляются высокие требования отечественных и зарубежных стандартов по качеству поверхности, геометрическим характеристикам и микроструктурным параметрам. Оптимизация технологии обработки данных сплавов труднореализуема без результатов исследования влияния различных режимов прокатки на кинематику очага деформации, поэтому данная задача является актуальной.

В настоящей работе исследовано соотношение кинематических зон в очаге деформации при разных значениях переднего (T_1) и заднего (T_0) натяжений полосы путем отслеживания положения нейтрального сечения. Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) очага деформации производили методом конечных элементов (МКЭ) в «DEFORM 3D». Осуществлена постановка задачи в трех вариантах. Базовой задачей являлось моделирование процесса прокатки кремнистой стали по промышленным режимам, для чего принято: начальная толщина полосы $h_0 = 0,50$ мм, конечная $h_1 = 0,275$ мм ($\varepsilon = 45\%$), коэффициент трения $\mu = 0,11$ диаметр валков $D = 70$ мм, заднее натяжение $T_0 = 67,5$ кН, переднее $T_1 = 70$ кН. В задаче № 2 заднее натяжение было увеличено до $T_0 = 90$ кН. Задача № 3 являлась контрольной, в ней прокатку вели без натяжения.

При моделировании плоскость ZX соответствовала продольному сечению очага деформации, соответственно эпюра касательного напряжения σ_{ZX} позволила определить положение нейтрального сечения из условия: $\sigma_{ZX} = 0$. На рис. 1 представлены эпюры напряжения σ_{ZX} для трех вариантов задачи центральном по толщине слое полосы.

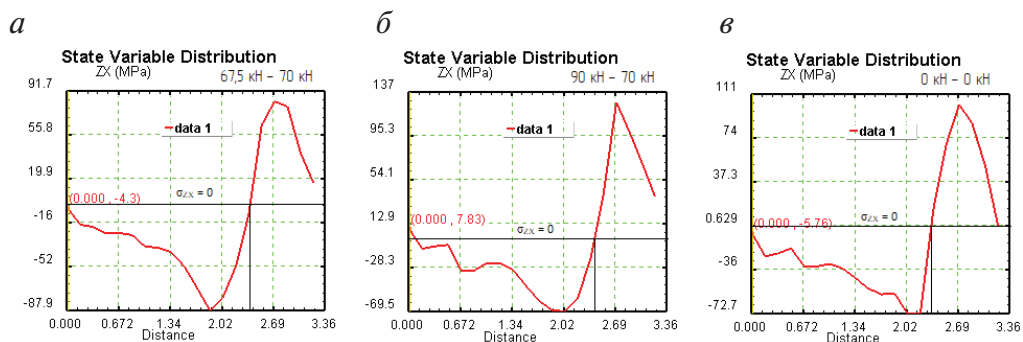


Рис. 1. Эпюры напряжения σ_{ZX} в центральном по толщине слое полосы при различных значениях натяжения, кН:

$a - T_0 = 67,5, T_1 = 70$; $b - T_0 = 90, T_1 = 70$; $c - T_0 = 0, T_1 = 0$

Как видно из рисунка, расчетные напряжения σ_{ZX} близки по своему значению к нулю до входа в очаг деформации, по ходу прокатки нарастают до определенной величины, затем уменьшаются до нуля, увеличи-

ваются с обратным знаком и стремятся к нулевому значению на выходе из очага деформации. Расчет координаты по оси X, в которой выполняется условие $\sigma_{zx} = 0$, выполнен при помощи функции «Point tracking» вдоль направления прокатки для трех слоев очага деформации по толщине: центрального ($0h$), поверхностного ($0,5h$) и равного четверти толщины ($0,25h$). Таким образом, во всех задачах была определена протяженность зоны отставания $l_{от}$ и зоны опережения $l_{оп}$ по глубине очага деформации. Ниже представлена табл. 1, в которой для каждого значения была рассчитана процентная доля от общей длины фактического очага деформации.

Таблица 1

**Протяженность, мм (%), кинематических зон очага деформации
в зависимости от натяжения и координаты по толщине очага деформации**

Задача, №	T_0 , кН	T_1 , кН	0,5h		0,25h		0h	
			$l_{от} (l_{от}/l)$	$l_{оп} (l_{оп}/l)$	$l_{от} (l_{от}/l)$	$l_{оп} (l_{оп}/l)$	$l_{от} (l_{от}/l)$	$l_{оп} (l_{оп}/l)$
1	67,5	70	2,041 (60,7)	1,319 (39,3)	2,311 (68,8)	1,049 (31,2)	2,385 (71,0)	0,975 (29,0)
2	90	70	2,143 (63,8)	1,217 (36,2)	2,446 (72,8)	0,914 (27,2)	2,433 (72,4)	0,927 (27,6)
3	0	0	2,079 (61,8)	1,281 (38,2)	2,365 (70,4)	0,995 (29,6)	2,348 (69,9)	1,012 (30,1)

Из таблицы видно, что полученное решение согласуется с известным уравнением Ю. М. Файнберга [4]. С увеличением заднего натяжения при прокатке величина нейтрального угла уменьшается, а зона отставания увеличивается. В задаче № 2 по сравнению с задачей № 1 произошло увеличение заднего натяжения на 25 %, что привело к увеличению зоны отставания по всему сечению очага. Важно отметить, что увеличение зоны отставания в данном случае незначительно и в среднем составило 3 %. Полученный результат говорит о том, что для промышленного режима прокатки существует значительный резерв по увеличению заднего натяжения, что позволит снизить энергосиловые параметры деформации и повысить энергоемкость процесса. Отмечено также, что длина зоны отставания в задаче № 1 меньше, чем в контрольной задаче без натяжения. Это можно объяснить более сильным влиянием переднего натяжения.

Результаты исследования опробованы при промышленном производстве электротехнической трансформаторной стали на реверсивном стане. Контроль за технологическими параметрами процесса прокатки и энергосиловыми характеристиками производили с помощью

мониторинговой системы стана «AG ibaAnalyzer». При холодной прокатке металла текущего производства указанного сортамента величина усилия прокатки составляет 12700 кН, в опытном режиме прокатки было отмечено, что величина усилия снизилась до 12000 кН, т. е. на 6 %. Прокатка по опытному режиму прошла штатным образом, технический контроль поверхности холоднокатаных листов не выявил следов от проскальзывания валков, повышенной зажиренности, „рисков“, „рябизны“, „штрихов“ и других дефектов. Таким образом, исследование напряженно-деформированного состояния и кинематики процесса прокатки позволило снизить величину усилия прокатки и сделать процесс деформации более энергоэффективным. Необходимо отметить, что достигнутый эффект ведет к уменьшению нагрузки на главный рабочий инструмент клетки — прокатные валки, что в конечном счете улучшает их режим работы и снижает риск преждевременного выхода из строя.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гарбер Э. А. Улучшение качества поверхности холоднокатаных полос путем воздействия на положение нейтрального сечения в очаге деформации / Э. А. Гарбер, И. А. Шадрюнова, В. В. Кузнецов // Производство проката. 2003. № 2. С. 16–19.
- 2 Повышение качества поверхности листовой стали на основе новых решений в теории холодной прокатки / Э. А. Гарбер [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. 2010. № 2. С. 116–126.
- 3 Кузнецов В. В. Исследование влияния положения нейтрального сечения в очаге деформации при холодной прокатке на текстуру и свойства проката / В. В. Кузнецов, В. И. Славов // Черная металлургия. 2008. № 1. С. 44–49.
- 4 Грудев А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев. М. : Интермет Инжиниринг, 2001. 280 с.